波

岩波写眞文庫 61

波

61

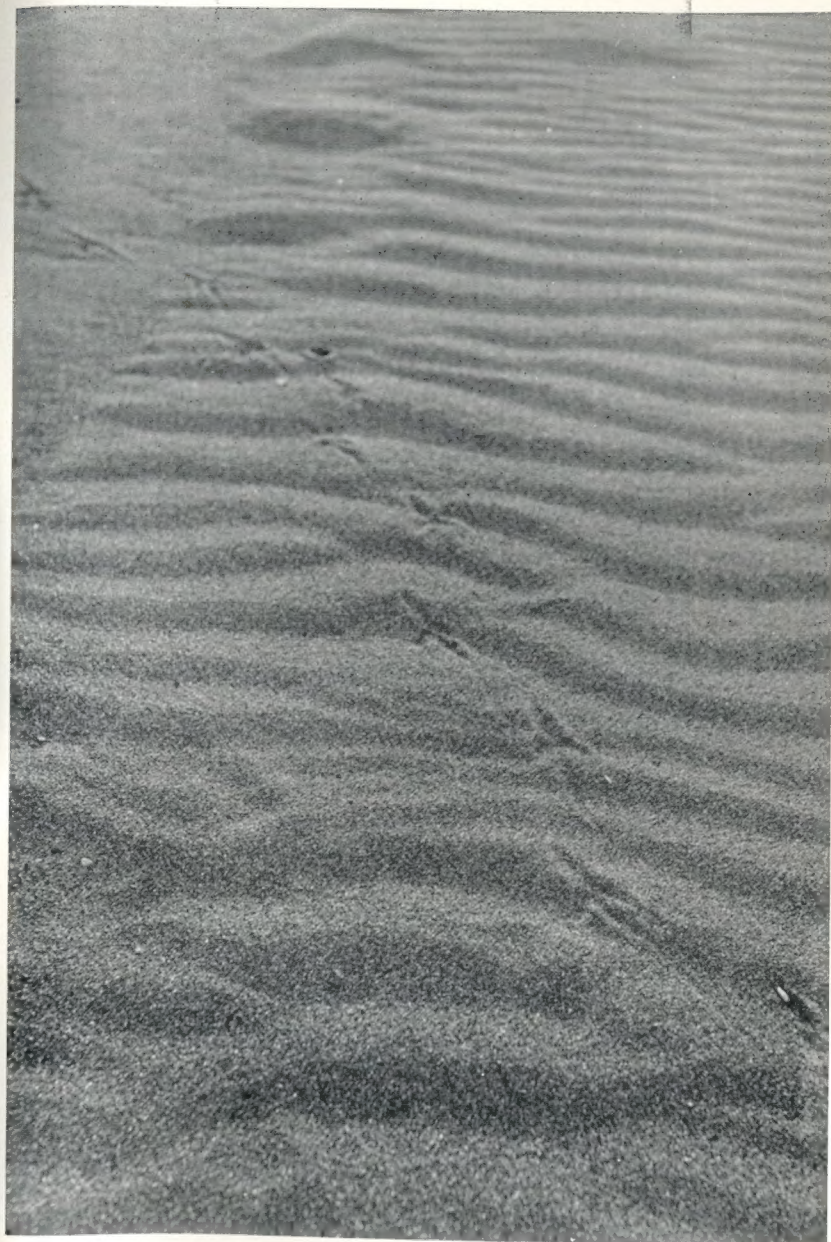
岩波写眞文庫 61　波

編　集　岩波書店編集部
監　修　坪井忠二
写　眞　岩波映画製作所

はじめに

日常、何氣なく見逃されているいろいろの現象でも、少し立入って見さえすれば、そこには実に見事な法則があり、秩序があることが認められる。物理学というほどではないとしても、自然の理法を知るよろこびは誰にもあるはずである。そのような物理は、教科書の文章から学ぶべきものではなく、自らの目で見、自らの頭で納得さるべきものと思われる。写眞文庫「波」も、讀者に教えこもうというのではなく、目の案内を試みようとするに過ぎない。この「波」を見終ってから、自らの周囲を見まわしていただきたい。家庭に、街頭に、何と波の多いことか。見る目をもつこと、これは楽しいことである。写眞文庫の物理シリーズがその目をつくりその目の案内となり得ること、これがわれわれの念願である。

目　次

定価100円　1952年 9月20日　第1刷発行　1956年6月10日　第3刷発行　発行者　岩波雄二郎　印刷者　米屋勇　印刷所　東京都港区芝浦2ノ1　半七写真印刷工業株式会社　製本所　永井製本所　発行所　東京都千代田区神田一ッ橋2ノ3　株式会社岩波書店

ここは何も特別なことのない平凡な日本間である。ただ見ればそれだけのことであるが、この中から、波に関係あるものをひろい出してみよう。まず、唐紙の模様が波である。むこうに見える屋根の瓦が波である。そういえば、疊の目も波である。すだれの骨も、行儀よくならんでいるという点から見れば波である。障子の棧も波である。うちわの模様も、二方向に行儀よくならんでいる波である。こう数えていくと、波模様でないものの方が少いくらいである。今数え上げたのは、波模様、すなわち、一方向又は二方向にくりかえしている模様であって、いわば止っている波、空間的の波である。時間的の波はないだろうか、ある、ある。ラジオから聞えてくる音は、空氣の波である。茶碗の中にあるお茶も、その表面には小さな波を傳えている。いや、第一、われわれの目にこれらのものが見えるというそのことは光のおかげであるが、その光そのものも、空間を傳わってくる波なのである。そういえば、ラジオは、放送局のアンテナから出た波によって鳴るのであるし、ラジオをはたらかす電氣も、一秒間に五〇回（関西では六〇回）振動する波である。こういうと、何もかも波になってしまうが実際そのとおりなのである。しかし、波とはそもそも何なのだろうか。どういうものを、波ととなえるのであろうか。

1

波とは、いわば、くりかえしである。それが空間的にくりかえしているなら、空間的の波であり、それが時間的にくりかえしているなら、時間的の波である。時間的の波は、見方をかえれば、振動ともいわれるものである。まずここでは、空間的の波を探してみよう。くりかえしということは、周期的ということであって、同じ形なり或いは模様なりが、一定の間隔をもって並んでいるということである。この一定の間隔が、波長といわれるものである。くりかえしの波模様というと、凹凸や高低のある、いわゆる波形のものを思い浮べるけれども、その必要はないのである。くりかえす単位はどんな形であってもよい。また一つの方向へだけくりかえしている必要もなく、上下にも左右にもくりかえしていてもよい。これが二次元の波である。

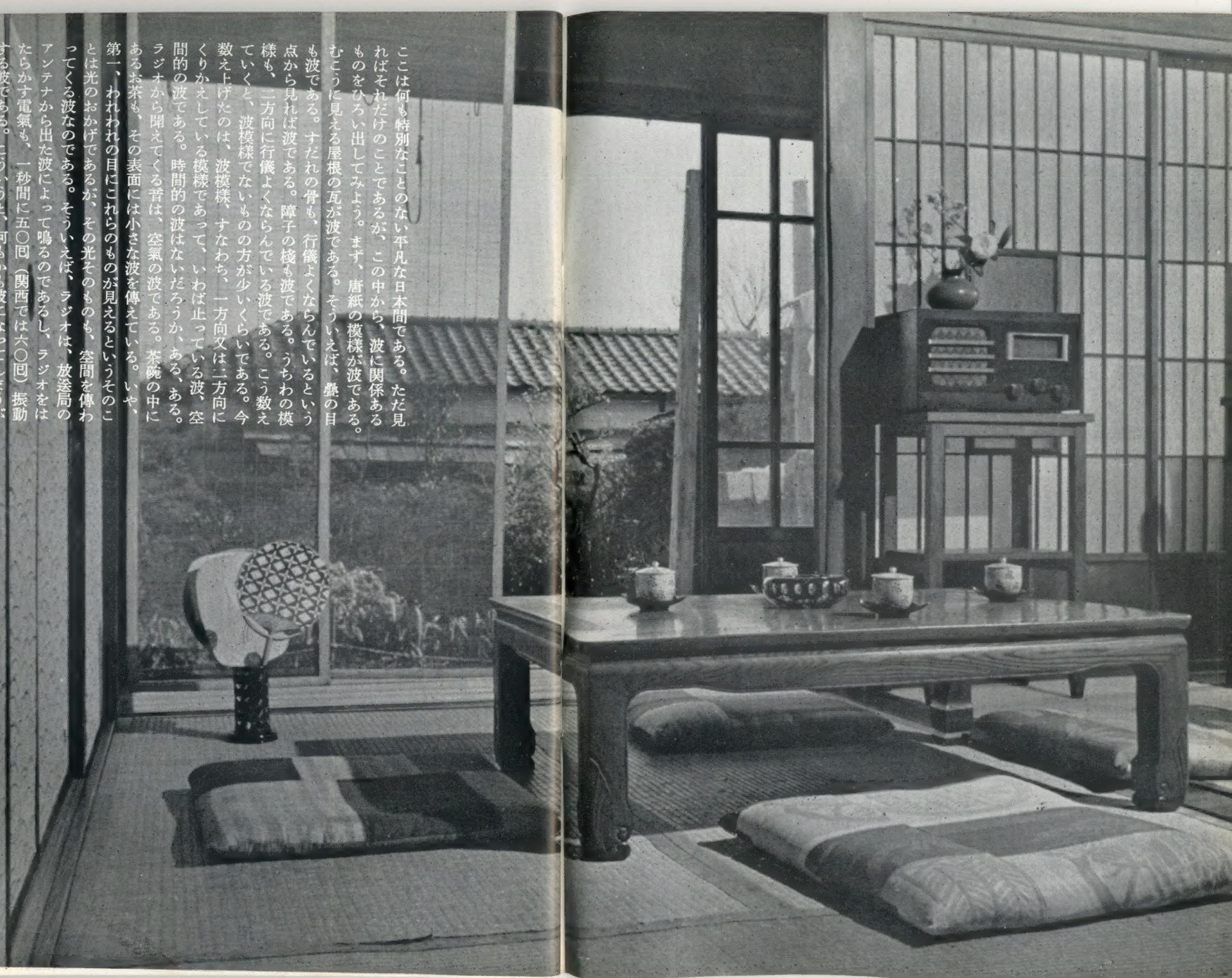
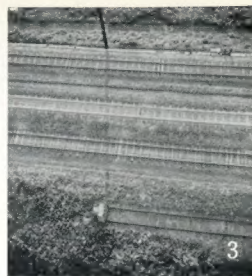
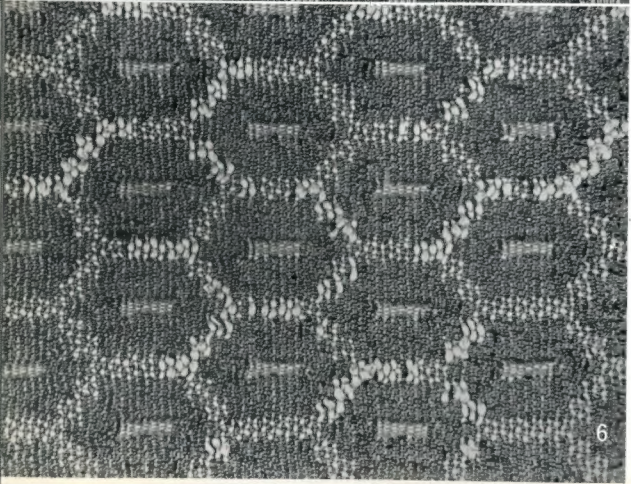
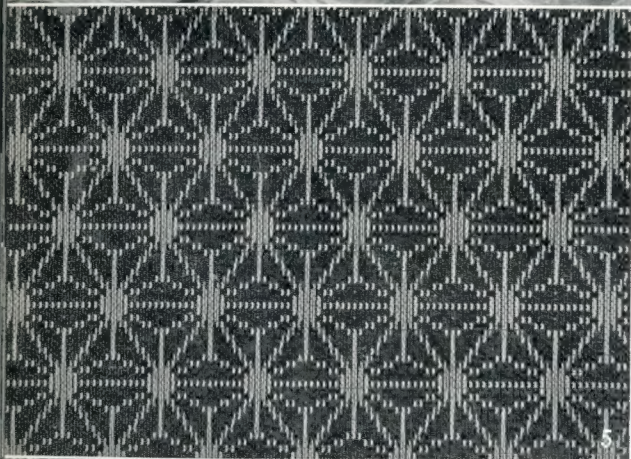
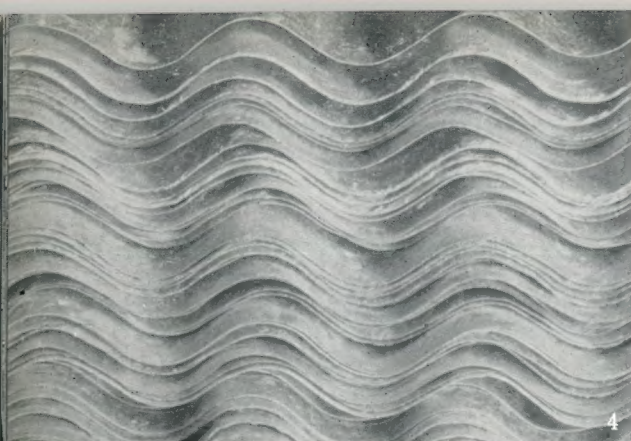
2

4

3

街にみる波

5

6

一次元の波で典型的なものは，レールの枕木であろう．それは一定の間隔をもって，一次元に配列されている．時計のくさりも，編んだ毛糸も，同じ形が行儀よく一次元に配列されているのである．すなわち一次元の波である．ナマコ板になるとようすが少しちがっている．凹凸の波形は，この写眞の左右には，行儀よくくりかえしているけれども前後の方向には変化はない．つまり，波の高いところ，低いところを連ねた線が，直線になっている．じゅうたんや，きれの模様は，左右にも，前後にも，くりかえしているものが多い．これらは二次元の波といってよいのである．こんな目をもって街をあるいてみよう．カーテン・のれん・着物・鋪装の敷石・瓦・窓など何と波の多いことだろう．

あることがらが、時間的にくりかえされているならば、それは時間的の波である。同じ状態が一定の間隔ごとにもどってくるのであってこの時間が周期である。歴史はくりかえすなどといわれるのも、時間的の波である。一年を周期とする波は、春夏秋冬である。一月を周期とする月のみちかけ、一週を周期としてやってくる日曜日、一日を周期とする地球の回轉、それによって生じる晝夜、氣温の昇降、十二時間を周期とする時計の短針の運動、一時間を周期とする時計の長針の運動、などは規則正しく周期的である。それほど規則正しくなくても、時間的にくりかえしている現象は、実に多いのである。くりかえすということは、いいかえれば一方にふれたとき再び元にもどるということなのであるから一方のみに偏しない安定した現象である。

時間的な波

よせては返す波というのが，時間的の波の典型的なものである．つまり一ヵ所に立って水の高さを測れば，それが時間的に周期的に変化しているのである．一目で全体を見渡すと，高い所や低い所がくりかえして並んでいるというのは空間的の波としての見方であり，またそれがおしよせてくるというのは，傳播する波としての見方である．電燈の下で，コーヒーのさじを速く動かすとこんなふうに見える．それは，電燈の光というものは実は非常に速く（関東では100回，関西では120回）明滅しているからであるつまり，電燈の明るさというものも，時間的には波なのである．海の潮の干満は，月と太陽との引力によっておこるもので1日に約2回くりかえす．満潮から満潮まで，或いは干潮から干潮までは，約12時間50分だからその半分をへだててみれば，こんなようすになる．

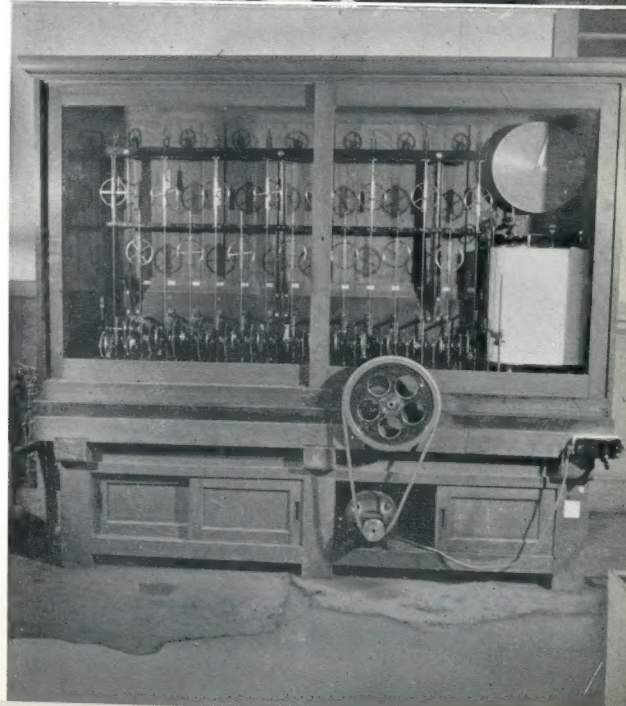
人間のからだにも、心臓の鼓動・呼吸・蠕動等をはじめとして周期的なものが、はなはだ多い。脳波といわれるものもその一つである。頭の二つの部分に電極をつけて、そこから針金をひき、適当に増幅すると、この二つの電極の間に、弱い電圧が生じていることがわかる。そしてこの電圧が、やはり時間的にはほぼ周期的に変化している。電圧によってペンを動かし、その運動を一方に動いていく紙に記録させれば、周期的な曲線がえられる。そして、その形・周期・振幅などが大切な資料となる。

海の潮汐は、主として月と太陽との引力によっておこる。月はおよそ二十五時間、太陽は二十四時間で地球のまわりを一周するのだから、両者のはたらきが、時には強めあい時には弱めあう。これが大潮・小潮である。その他、月の位置も太陽の位置もいろいろに変化するので潮の高低は単純に周期的なものではなくたくさんの振動の合成されたものであるとみることができる。この器械は、それらのたくさんの振動を合成するものであって、これによって或る地域における將來の潮汐が予報される。

脳波と潮汐

①②は脳波のグラフである．眼をあけたり閉じたりすると波のようすがかわる．また健康人と病人とで波のようすがちがっていることなどがわかる．

下3図は，潮汐による海水昇降の一例である．③は一ヵ月の間のようすを示したものである．振幅の大きくなっているところが大潮で，月の望，又は朔にあたる．小さくなっているところが小潮でこれは上弦，又は下弦にあたる．このように，潮汐の曲線は決して單純なものではない．④の図は計算器械で求めた潮汐曲線と実際の潮汐曲線とがよく一致していることを示す．なめらかな曲線が計算から求めた方で，実際の曲線にみえる凹凸は風や波の影響である．⑤の図は潮汐に津波が重なったばあいの記録である．(1933年3月3～4日塩釜)

人の波

人の波と称するものも，文字どおり波の性質をよくあらわしている．にぎやかな街頭に立って，ゆく人の群を眺めてみるとそれは決してどこでも一様にこみあっているわけではない．大変に密集している所もあれば，大変にまばらになっている所もある．ことに，十字路で交通整理の行われている所では，人通りが周期的になるのは当然である．しばらく雑沓がつづいた後，不思議な位の靜けさがくる．右頁の上の写眞も下の写眞もほんの数分をへだててとったものに過ぎない．交通整理の合図によって生じた交通量の粗密が，街にそって移動していくのである．十字路から少し離れた所に立って眺めていると，その粗密が実に規則正しくあらわれるのがよくわかる．街全体を見渡すと，人のこんだ所とすいた所があり，一ヵ所でみると人通りがおおくなったり少くなったりしている．

人の波で見たように、粗密とか、高低とか、そういう狀態がだんだん動いていくというのが、傳播という現象である。もっと正確にいうならば、或る時刻におこったことがらが、それよりxだけ離れた地点では、時間tだけおくれておこるということである。或ることがらが、xだけ進むのにtだけの時間を要するというのであるから、xをtで割ったものが、それの傳わる速さである。速さをvであらわすならば、$x \div t = v$である。逆にいえば、$x = v \times t$である。交通整理の赤信号が三〇秒、青信号が三〇秒つづいていて、人が一分間に百米歩くものとすれば、雑沓の先頭から次の先頭までの距離は、百米である。これが人の波の波長である。また、一ヵ所に立ってながめていれば、雑沓の先頭が來てから、次の先頭が來るまでは一分間であって、これが周期である。波は一周期の間に一波長だけ進むのである。今の例でいうならば、一周期である一分の間に、一波長である百米を進んでいくのである。波長をL、周期をTとすれば、$v \times T = L$という関係になる。

つなをたいらにはって、その一方のはじを激しく上下してやると、波がつなに沿って、他のはじの方へ傳わっていく。傳わる速さは、つなの強さによっていろいろである。電柱や煙突を四方からひっぱっている針金をたたいて、手をふれていると、それが傳わっていって帰ってくるのが手ごたえでよくわかる。たたかれて生じた変形という狀態が傳わるのである。しょうぎ倒しという遊びも、倒れるという狀態が順々に傳わっていくことをよく表している。一つの駒が倒れたことによって次の駒が倒れ、その駒が倒れたことによって、又その次の駒が倒れるというように、倒れるという狀態が次々に傳わっていくのである。しょうぎの駒という実質が動いていくのではなく、倒れるという狀態がつたわっていくのである。このように波というものは、狀態が傳わっていくのであって、この点が流れとちがう大切な処である。流れでは、ものが実際に動いていくのであるが、波では、それを傳えるものは、ほとんど動かない。波を傳える実質を、媒質とよんでいるのである。

ボール送りも波に似た現象である。ボール送りでは、ボールを持った子供たちが動いていくのではない。子供たちは一ヵ所に止っていて、後から来るボールを受け、そのボールを前に送るという動作を行っているだけである。ボールは後の子供から前の子供へと順々に送られていくのである。この場合に傳わっていくものは、子供がボールを持っているという状態であるといったらよいであろう。そういう状態が傳わっていくということが、波の傳播なのである。ボールは、ボールを持っているという狀態の目印である。水の波でも、つなの波でも、ボールにあたるものは、エネルギーである。波の傳播というのは、媒質の各部分で、エネルギーを順々に受け渡したりしているのである。後からもらったエネルギーを前に渡してやるという点で、ボール送りとよく似ている。媒質の各部分はその平均の位置のまわりに、少し動いているだけで、大きく移動していかない。このことは、子供が一ヵ所に止っていて、少しの動作をするだけで、大きく移動するのではないのに似ている。

水の波

波といって，すぐ頭に浮ぶのは，水の波であろう．この場合でも，水という実体は，1ヵ所で小さく動いているだけであって大きく波としてひろがっていくのは，高低という状態だけなのである．水の波にもいろいろの種類があるが，ここの写眞は四角な皿に入れた水の靜かな水面に，水を1滴たらしてできた波紋である．波はどちらの方向へも同じ速さで傳わるから，水滴の落ちたところを中心として，きれいな円の輪をかいて，ひろがっていくのである．注意すべきことは，水をただ1滴だけ落したのにもかかわらず，波がいくつもできていることである．1本のつなをたたいたときにはそういうことは起らない．これが，一次元の波と二次元の波とのちがう大切な点である．波の輪はひろがっていくにつれて，その周囲の長さがだんだん長くなるから，波の高さはだんだんに低くなる．

波　の　傳　播

波として傳わっていくものは，狀態であって，実体ではないということを示すために，この写眞をとった　池の水面に木の葉が浮んでいる．その近くに石を投げ込んだ．波紋はだんだんひろがってついに木の葉を動かして先の方へ傳わっていってしまう．しかし木の葉ははじめとくらべて，その位置をほとんど変えていないのである．木の葉が動かないことは水も又動かないことを示している．

水の波で、ひろがるものは状態であって、実質そのものは、動かないといったけれども、実はその平均の位置のまわりを小さく動いてはいるのである。この平均の位置は動かないのである。さて水の各部分は、どう動いているのか。これは波の種類によってちがうけれども、普通の水の波では、平均の位置のまわりを、ぐるぐる円運動をつづけていると考えてよい。上の図で、横の列は、或る時刻における波の空間的の形を表している。下から数えて次々の列は、次々の時刻における波の空間的の形を表している。黒い点を一列ずつ横につらねてみれば、波形が一列ごとに、だんだん左に動いていく有様がわかる。次に縦の一行ずつをみると、これは水の小部分が、その平均位置のまわりを、時計と反対のむきにまわっていることを示している。そしてその位置が、となりどうしで、少しずつずれているのである。この図の上の方が前の時刻をあらわし、下の方が後の時刻をあらわすと考えれば、水の各部分の動き方は、時計の針と同じ向きになり、波は左から右へ進むことになる。

波の重なり

波の大切な性質の一つはそれが平氣で重なり合うということである．つまり，或る一つの波のひろがっていく有様や，高低の模様が，他の波が存在するということによって影響を受けないということである．池に，石を二つ同時に投げ込んで，二つの波紋をつくってみても，それぞれがちゃんと輪になって，勝手にひろがっていく．二人で大根を洗っていれば，二つの円群が勝手にひろがっていく．もし波がこのように自由に重なり合うものでなかったならば，どんなことが起るであろうか．音は空氣を傳わる波であることは前にもちょっと述べた．もし音の波が自由に重なり合わないとしたら，例えばオーケストラをきいても，支離滅裂のものになるだろう．あれはヴァイオリンの音，あれはクラリネットの音というように区別することができなくなり，ヴァイオリンの音でもなくクラリネットの音でもなくごちゃごちゃになったわけのわからない音がきこえてくるだけであろう．

二つの波が，平氣で重なり合う有様は，左下の図で明らかである．これは二つの源を同時に同じように動かして，同じような波を重なり合わせてみたのである．それぞれの円形の波紋は，他の波紋の存在によってすこしも乱されていないのである．水面に，たくさんのしずくを落しても，同じことであって，右や左上の図のようになる．大きな輪は，まえに落ちた水滴によって生じた波紋であり小さな輪は，今落ちたばかりの水滴によって生じた波紋である．雨がパラパラと水たまりや池に降るときにできる波紋も，おなじように，重なっている．このような模様は光のあて方の加減によって，よく見えたり，見えなかったりする．水面を直接見るよりも，水を入れた白い皿に上から強い光をあてて，底にうつる波の影を見るか，あるいは，水面から反射してくる光を，スリガラスに受けて見るとよくわかる．

一様な媒質の中ならば、波は四方へ同じ速さをもって傳わっていく。一点から出た波は、その点を中心とした円、あるいは球面となって、ひろがっていくのであるが、源から非常に遠くまで來たところでは、この球面は、ほとんど平面になってしまっている。このような波を平面波といっている。波のエネルギーは、この球面の半径にそって源から傳わってくるのであって、この半径は、いたるところで、球面とは垂直に交っている。このエネルギーの傳わってくるみちすじを、波線（光の場合なら光線）というのである。つまり波面と波線とは、垂直に交っているのである。平面波の場合には、その波面に垂直に交る波線は、みな平行である。窓からさしこむ光は、このことをよく表している。太陽は非常に遠くにあるから、太陽を出た光も地球にとどくころには、ほとんど平面波になっているとみなして差支えないのである。もしも光源が近いところにあるならば、さしこむ光は平行ではなく、放射状になる。その放射状の波線を、逆にのばして一点に交るところに、波の源がある。

波の傳わる速さ

波の傳わる速さが，方向によってちがうと話はややめんどうになってくる．たとえば或る方向に速く，それと直角の方向におそいというような場合には，源から出た波は源を中心とした円にはならないで，楕円形になる．このときは，波面と波線とは直角にはならない．このことは，ななめ行進を考えてみるとよくわかる．ななめ行進をする場合に，子供のつくっている列は，いつも校舎に平行にはなっているけれども，その方向と，子供の歩く方向とは直角にはなっていない．子供の歩く速さが同じであっても，ななめ行進の列の進む速さは，正面行進の列の進む速さよりも，ずっとおそい．

水の波によって表面にできた凹凸の有様は、直接に見るよりも、その水の面にうつったものの、ゆがみによって見る方がよくわかることがある。よどんだ水の面にできている波などは、凹凸は小さなものであって、これを直接にみることはむずかしいが、これにうつっている対岸の建物などの形がゆがんでいることから、水の面に凹凸があることがよくわかる。鏡の凹凸をためしてみるのに、遠くにあるものが正しくうつるか、ゆがんでうつるかによって検査するのも、同じ理窟である。更科の「田毎の月」というものがあるが、もし、田の水の面がすべてたいらならば、ああいうように、たくさんの田に月がうつって見えるはずはない。たくさんの田に月がうつって見えるというのは、それらの田にそれぞれ波がおこっているからなのである。月や太陽が海面にうつって見えるときでも、ただ一つの月、ただ一つの太陽に見えるのではなくて、ほうぼうがキラキラしている。これは月や太陽を出た光を人の目に送り込むような方向にむいた面がほうぼうにできているからである。

波　の　反　射

波の重要な性質の一つは反射ということである．鏡は光の波の反射を利用したものである．波線が或る角度をもって反射面にあたると，ちょうどその角度を反対側にとった方向に，反射波の波線が進んでいく．入射角と反射角とは等しいというのが反射の法則である．一般に波というものは，2点の間を最も短い時間の間に傳わるような途を選んで進むものである．入射角と反射角とが等しいという反射の法則も，この最短時間の原則から導くことができる．堀割りの岸はよい反射面になっていて，入射波と反射波とで市松模様がみられる．

平面波の反射は簡單明瞭であるが，円くひろがる波の反射はやや複雑である．しかしその非常に小さい部分をとってみれば平面波の場合と同じことがおこっているのである．四角な皿に水を入れ，しずくを1滴たらしたときの模様はこんなものになる．円くひろがる円の中心が，しずくの落ちたところである．その輪が縁にあたって反射していく有様がよく見える．反射の波の輪を，縁を折目にして外側に折返したとしてみると，一つづきの円になる．或いはしずくの落ちた点の鏡像にあたる点から反射波の輪がひろがっていくとみてもよい．皿の中の一つの点に着目すると，まず直接の波がきて，次に反射波が方々からやってくる．音でいうならば，反射波はこだまに相当するものである．

虹は、水滴によって、光が屈折と反射とを受けて生じる現象である。太陽を背にして霧を見ると、虹があらわれる。虹は円の弧の形をしているが、その中心は、太陽と自分の目とを連ねた直線の方向にある。空中にある霧の一粒一粒が、いわば鏡になって太陽の光を目に送りこむのであるが、この場合にはただの鏡とちがって屈折という現象が入ってくるので、事柄はやや複雑となってくる。霧粒はプリズムと鏡との役目を同時に演じているといってよいであろう。太陽の光を受けてそれを送りかえすのであるが、その方向が色によってちがうのである。逆にいえば、人の目に入ってくる方向が色によりちがうのである。虹は外側が赤、内側が紫である。この虹のまた外側に、内側が赤、外側が紫の第二の虹があらわれることもある。第一の虹と第二の虹との間は暗い。第一の虹は弧の中心に対しておよそ四二度、第二の虹はおよそ五一度の方向に見える。屈折というのは光の波の傳わる速さが、空氣中と霧粒の水の中とでちがうためにおこる現象であって、次の写眞がこれを説明する。

屈　　　折

光にかぎらず，波はその傳わる速さが一定ならば直線的にすすんでいくが速さが変ってくるところに來ると，その方向をかえるものである．これが屈折とよばれる現象である．たとえば，光線が水の面にあたると，水の中ではその方向が変る．光線と水面との交るところに垂線を立てたとすると水の中の光線は，それに近づくように方向をかえる．これは，水中における光の速さが，空氣中よりもおそいことを示している．プリズムに光が入る場合もやはり屈折がおこる．その曲り方が，色によってちがうので，白色光線が入っても，出てくる光は七色に見えるのである．水を入れたコップに光をあてると，表面でまず屈折し，それから裏側で反射し，これを出るときにまた屈折をする．

海岸に打ちよせてくる波の傳わる速さは，海が浅いほど，おそい。だから浅いところに來ると，足ぶみするような形になって，波の前面は，海岸線に平行になる。風向きがどうであっても，海の波は必ず海岸線に平行になるのはこのためである。

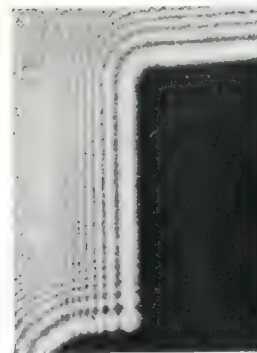
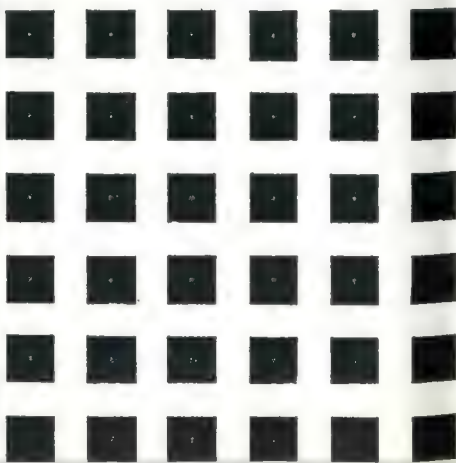
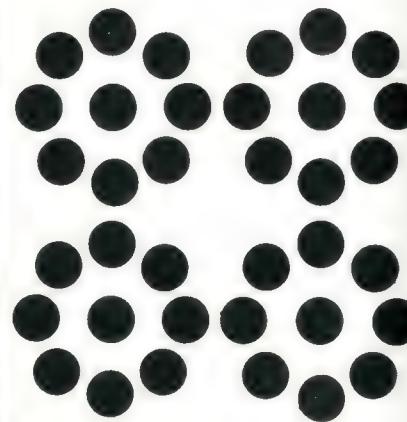
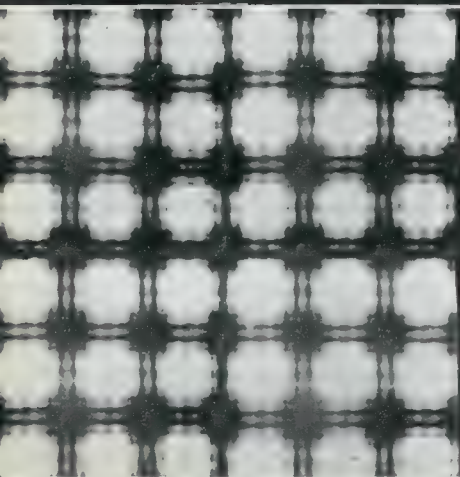
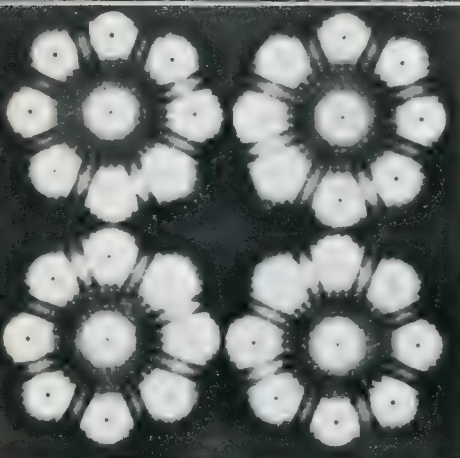
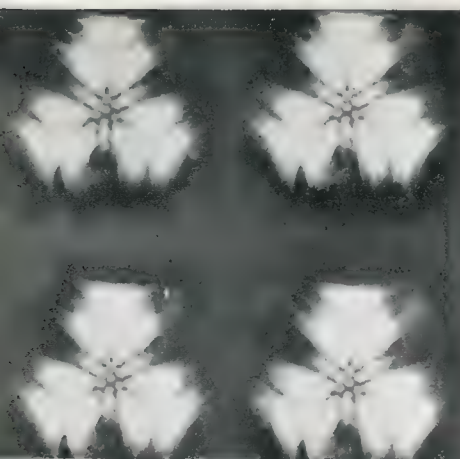
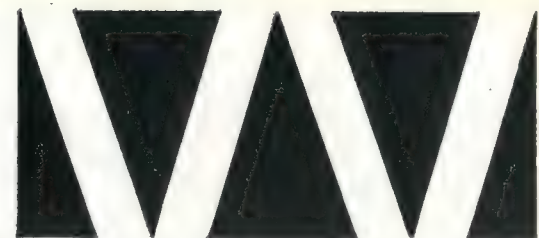
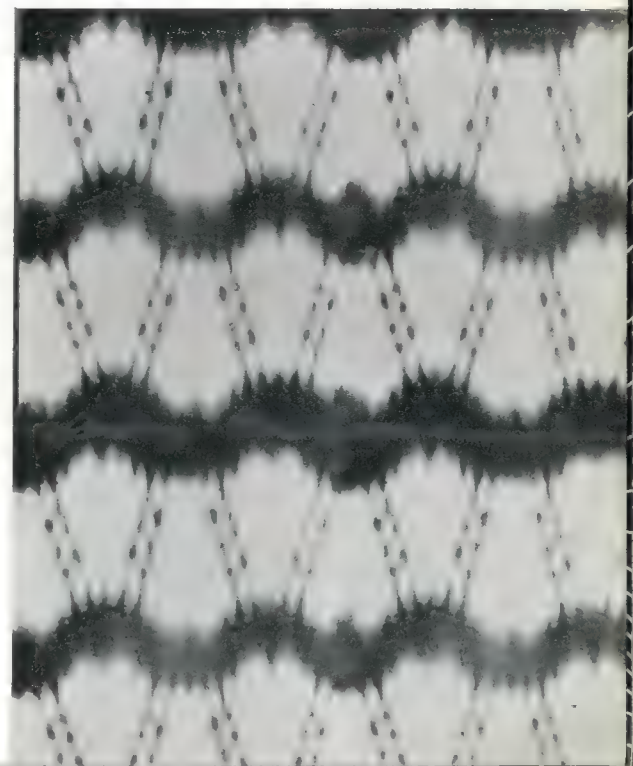
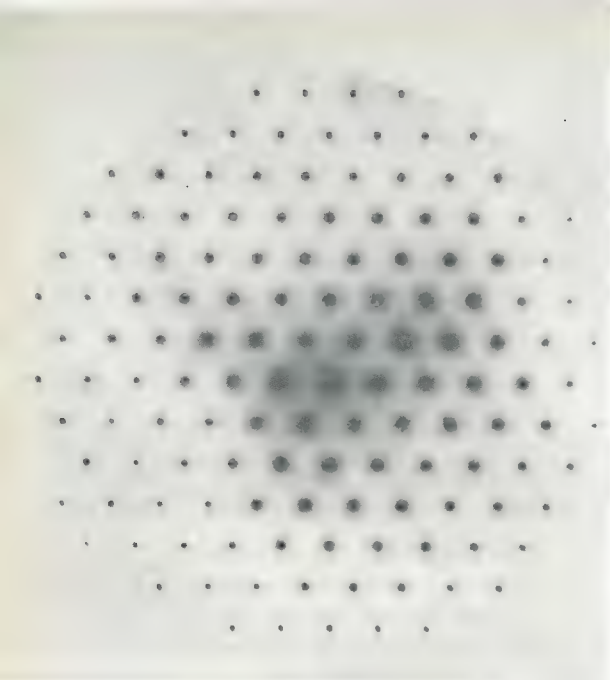
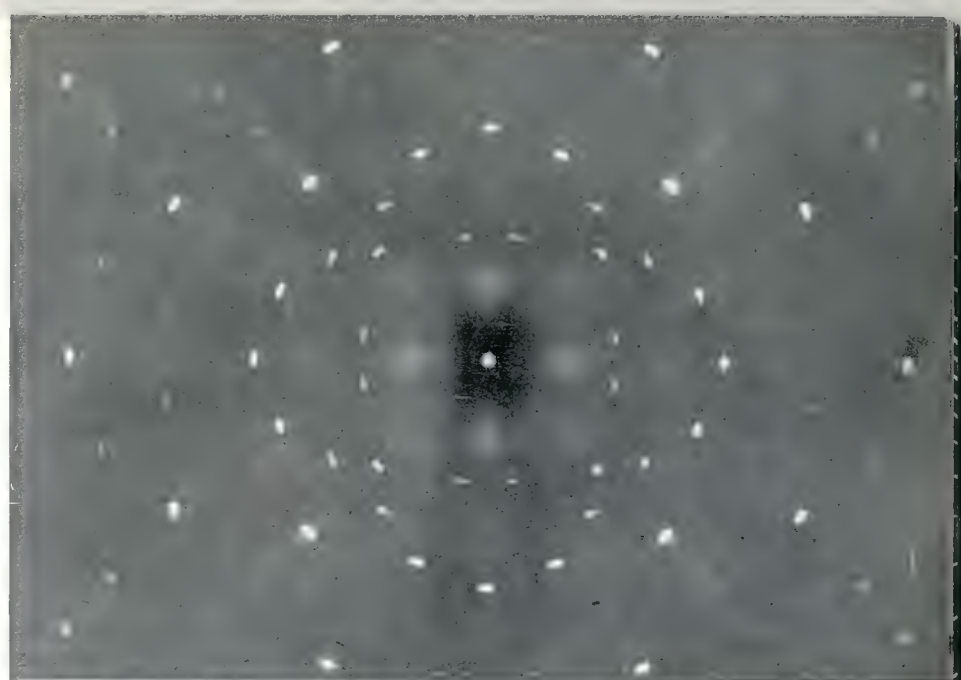
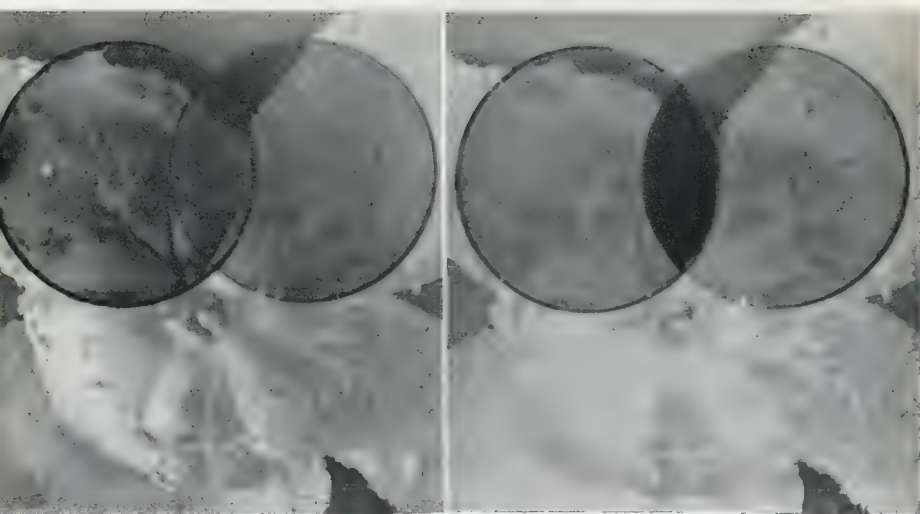
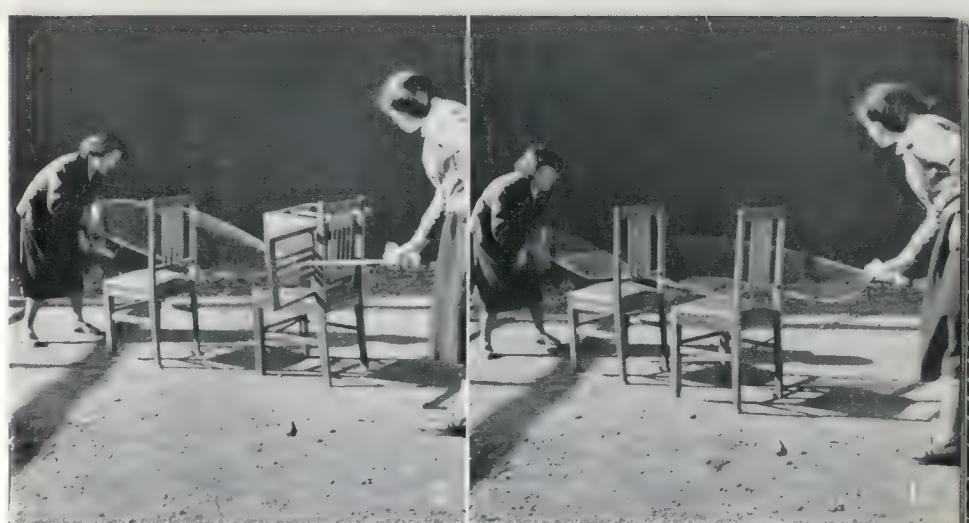
波長によって波の速さがちがう場合には，面白い現象がおこる。一番上の図で，右の図と中の図とでは，線の間隔が少しちがい，また，それが上から下へ，だんだんずれていく歩みも少しちがう。この二つの図を重ねると，左の図になるが，左の図で線の間隔のつまったところは，右の図とも中の図ともちがった割合でずれていく。二つの波があって，その波長も傳わる速さもちがう場合には，この二つの波を重ねてみると，合成された山，あるいは谷は，それぞれの波ともちがった速さで傳わっていく。その速さが，群速度といわれるものである。縁側や窓にかけたすだれが，二枚重なっているところを見ていると，いろいろな模様が，チラチラと動いて見える。これも上に述べた波の合成と似ている現象である。

ホイゲンスの原理

媒質が一様ならば，波は源を中心として，輪になってひろがっていく．その輪の各点が，またそれぞれ源になって，そこからまた輪がひろがっていく．その輪の外側をつつむ面が，波面である．波をこういうふうに考えてときあかしたのが，ホイゲンスであって，上に述べたことがらをホイゲンスの原理という．ここの写眞は，水に板を立ててその板に小さなすき間をあけ，波がそこを通りぬけるところを写したものである．板の手前に水滴を落すと，そこから輪になって，波が進んでいく．その輪が，板のせまいすき間のところに来ると，そこからだけ新しい輪がうまれる．だから，すき間のところを中心とした輪がみられる．この輪は板の手前の輪とはつながらない．すき間を二つあけておくと，それぞれを中心とする輪がうまれる．そして，この二つの輪は独立してひろがっていく．

波が示す特有の現象の一つに，干渉という現象がある。いくつかの波が重なりあうとき，山と山，谷と谷とが重なりあえば，波は大きくなり，山と谷，谷と山とが重なりあえば，波は小さくなる。もし，山の高さと谷の深さとが同じで，全く反対に重なりあえば，互に打消しあって，波がないのと同じことになってしまう。この現象を干渉というのである。つまり，波がいくつあっても，全体としての振幅は，個々の波を單純に加えあわせたものになるということにほかならない。いいかえれば，個々の波が，他の波の存在によって影響されないということである。やや詭弁になるが，干渉されないからこそ，干渉という現象が起るのだといえよう。上の写眞は，弱い凸レンズの上に，平面のガラスをおいて写したものである。レンズの面で反射した光と，平面ガラスの面で反射した光とが干渉しあって，ちょうど，山と谷，谷と山とが重なりあうような位置で，暗い輪（ニュートンの輪）になっている。この写眞は，干渉の現象を示すと同時に光が波であることをも示している。

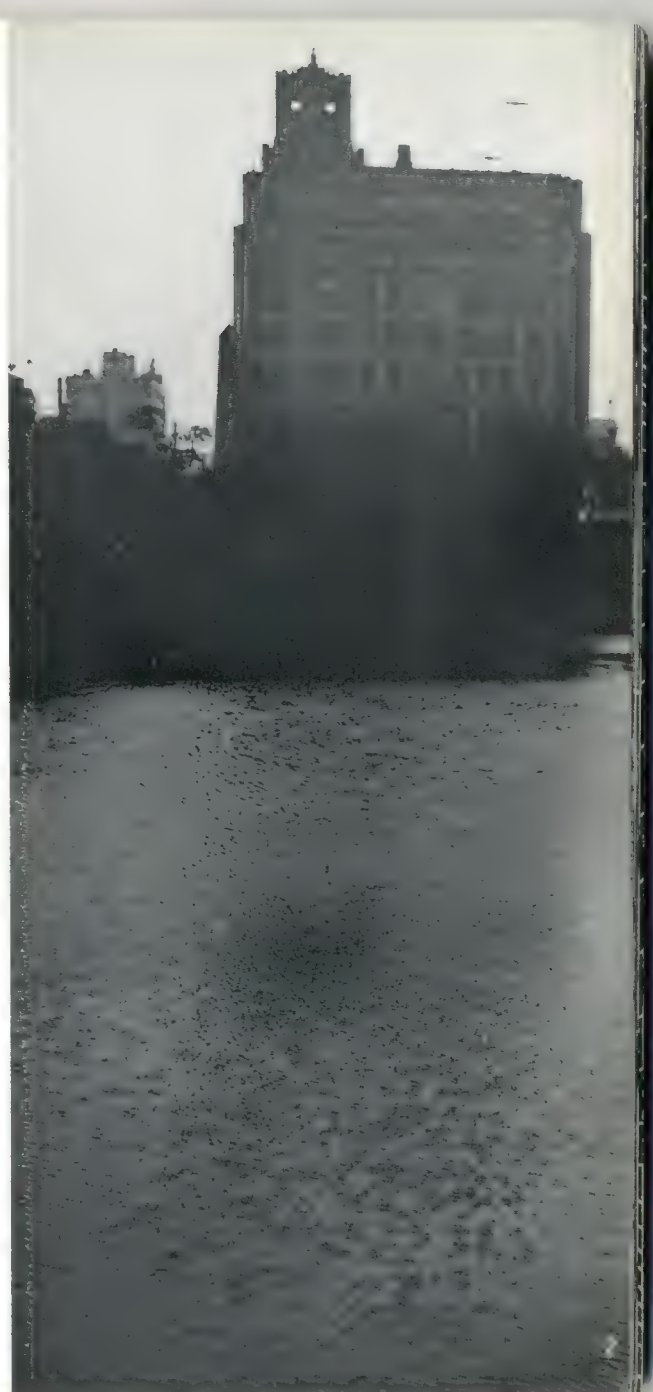
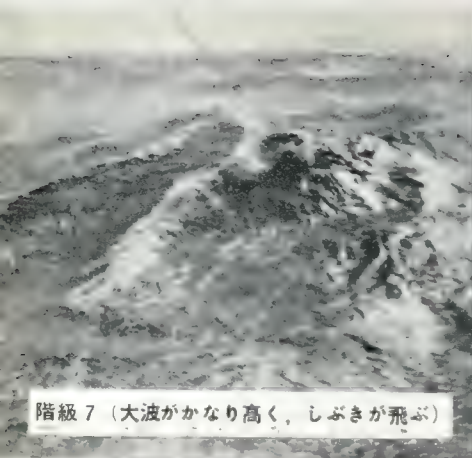
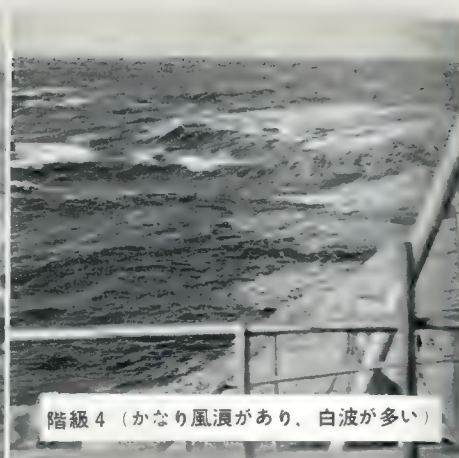
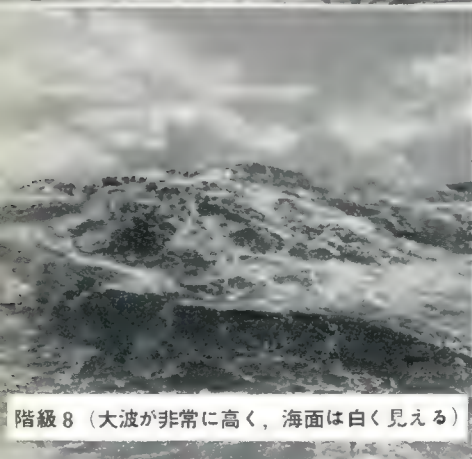
縦に並んだ玉は左右に動いている
玉のこんだところはななめに進む

長さ 20cm，幅 5cm 位の短冊形の紙を 2 枚，3mm 位の間をあけて，この図の上に並べる．2 枚を一しょに左から右，又は右から左に動かすと波が上下に傳わるように見える

同　　　　　折

光によってものの影ができるのは，光は直進して影の部分に入り込まないからである．しかし幾何学的には影にあたる部分にも，実をいうと少しは入り込んでいるし，また幾何学的には光のあたるところにも，実をいうと光の来ない部分もある．そこをくわしくしらべると明暗の縞になっている．こんな縞のあらわれるのは，鋭い縁のごく近所だけである．写眞に示した黒白の模様のようにするどい穴をきりぬいて，それに平行光線をあてるとおのおのの穴の縁でできた同折の縞模様が重なりあって，見事な絣模様を作りだすのである．縞の幅はあたる光の波長によってそれぞれちがうので白色光線をあてた場合には縞に色がついてみえる．

回折をおこすのは，光の波に限らない．薄い結晶の板の小部分だけにX線をあてると，右上のような写眞がうつる．これは結晶の中で原子が規則正しく並んでいて，そこに原子間の距離と同じ程度の波長をもっているX線の波があたることによって生じる回折の模様である．この模様は，X線がやはり光と同じような波であることを示すと同時に，結晶内における原子の配列の有様を知る手がかりとなる．これをラウエ斑点という．右下は，結晶の粉にX線をあてたときに生じる像である．いろいろなむきの結晶にX線があたるから，回折像は輪になる．左は，電子の流れを，膜といえるくらい薄い結晶にあてたとき，その後においた写眞乾板に生じる回折像である．左下は金箔にあてたものである．このことは，電子も場合によっては，波の性質をあらわすということを示している．

よくみがかれた平な面から反射してくる光は，その振動方向が偏っている．滑らかな皿の表面から反射してくる偏った光は，皿の模様から來る光の上に重なりあうから，目には模様が見えにくい．偏った反射光をさえぎるスクリーンを通してみると，模様がはっきりみえてくる．上の図の２枚のまるいガラス板はそのスクリーンである．前の椅子の格子にあたっている．左の寫眞では，格子の方向が平行なので光は２枚ともうまく通ってくる．右の寫眞では，格子の方向が直角になっているので，光は両方の板を通ることができず，重なりあっているところは，眞黒にしか見えない．方解石の結晶を通してものを見ると二重に見えるが，あれも光が二つにわかれそれぞれの振動方向が違うからだ．

波には縦波と横波とがある．媒質の振動方向が波の進行方向と同じなのが縦波，直角なのが横波である．縦波の典型的なものは音の波で，空氣の振動方向と音の進行方向とは同じである．横波の典型的なものは，つなを傳わっていく波で，つなの振動方向は波の進行すなわちつなの方向とは直角である．しかしこれだけではつなを水平に張った時それが上下に振動するのか左右に振動するのか，それともななめに振動するのかは限定されない．椅子の格子を平行にしておくと，その方向に振動する波はうまくくぐりぬける．格子を上下と水平とにしておくと，上下の格子をくぐりぬけた波も，水平の格子にはばまれて，こちらまで傳わってこない．このような場合その振動方向が偏っているという．

水の波にもいろいろの種類がある。波というものは、いわば、振動が次々と傳えられていくものであるが、その振動が何の作用によっておこるか、またどういう條件の下においておこるか、ということによって、それぞれちがった種類の波がおこるのである。全体としては静かな水面に、ちりめんのようにおこる漣は、水の表面張力によっておこる波である。ふつうにわれわれが見る海の波の振動は、水にはたらく地球の重力によっておこるものである。しかし、海の深さにくらべて、波の波長が短いか、長いかによって、波のようすはかわってくる。波長が短いと水の動きは表面に近いほど大きく、またその傳わる速さは、波長が長いほど速い。深さにくらべて波長がずっと長い場合には、傳わる速さは波長にはよらないが、深さには関係してくる。深さが深いほど速く、たとえば、太平洋のように、深さ四千米とすれば、秒速二百米くらいになる。このような波による運動は、水の表面でも底の方でもたいした差はなく、いずれも横に長いひらたい楕円形のものになる。

ガラス鉢に入れた水に，水と密度のほとんど等しいものをうかべて，これに波をおこしてみる．そのおこし方によって，波長の長いものも，短いものもできる．それぞれの場合におけるうきの動き方をみると，上に述べたことがよくわかる．上の図は，波長が長い場合で表面でも底でも，ほとんど同じように，横に長く動いている．下の図は波長が短い場合で，表面における動きにくらべると底における動きのほうがずっと小さい．そしてむしろ縦に長く動いている．

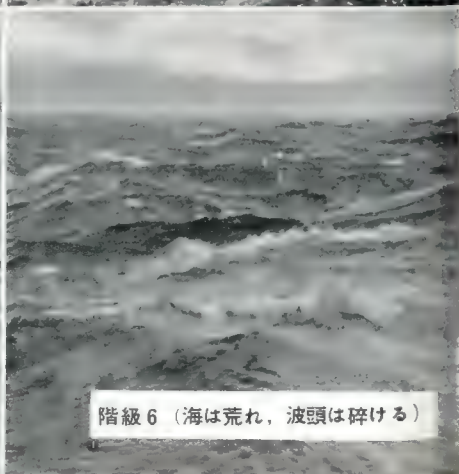
波の群速度

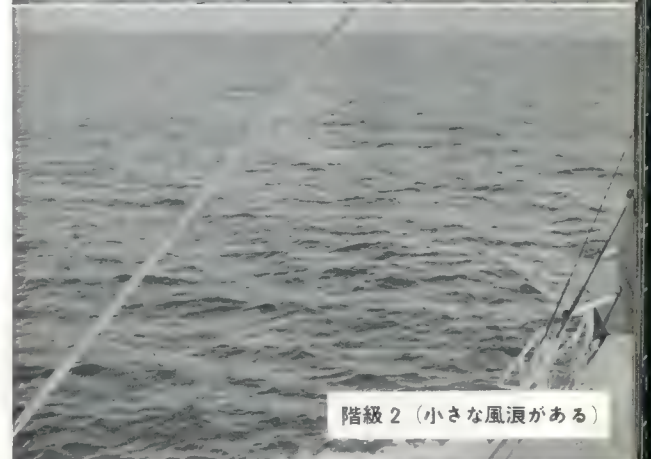
水の波にもいろいろあることは，前に述べた．右の図の波は，表面張力によってできるちりめんのような漣である．この波は，波長が短いほど，傳わる速さが速い．この漣の一つの山，一つの谷に目をつけていると，それが傳わっていくように見え，その速さが，群速度である．海の深いところで，われわれがふつうに見る波は，水にはたらく重力によって生じるのであるが，表面の形は波の底でやや平たく，波の頭でややとがったものになる．数学的には，トロコイドといわれる曲線に近いものである．左下の図は，水槽のなかでその波をつくって，側面のガラスを通して，その波形をうつしてみたものである．理論でいうような波をつくることは，なかなかむずかしいが，それでも，底で平らで，頭でとがっているようすは，この写眞でもよくわかると思う．

階級 7（大波がかなり高く，しぶきが飛ぶ）

階級 4（かなり風浪があり，白波が多い）

階級 8（大波が非常に高く，海面は白く見える）

階級 5（大波が現われ，しぶきを伴う）

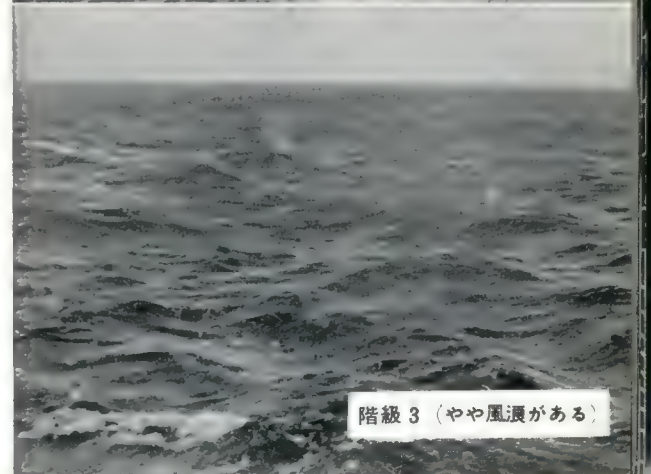
階級 9（台風中心域で見られるような場合）

階級 6（海は荒れ，波頭は砕ける）

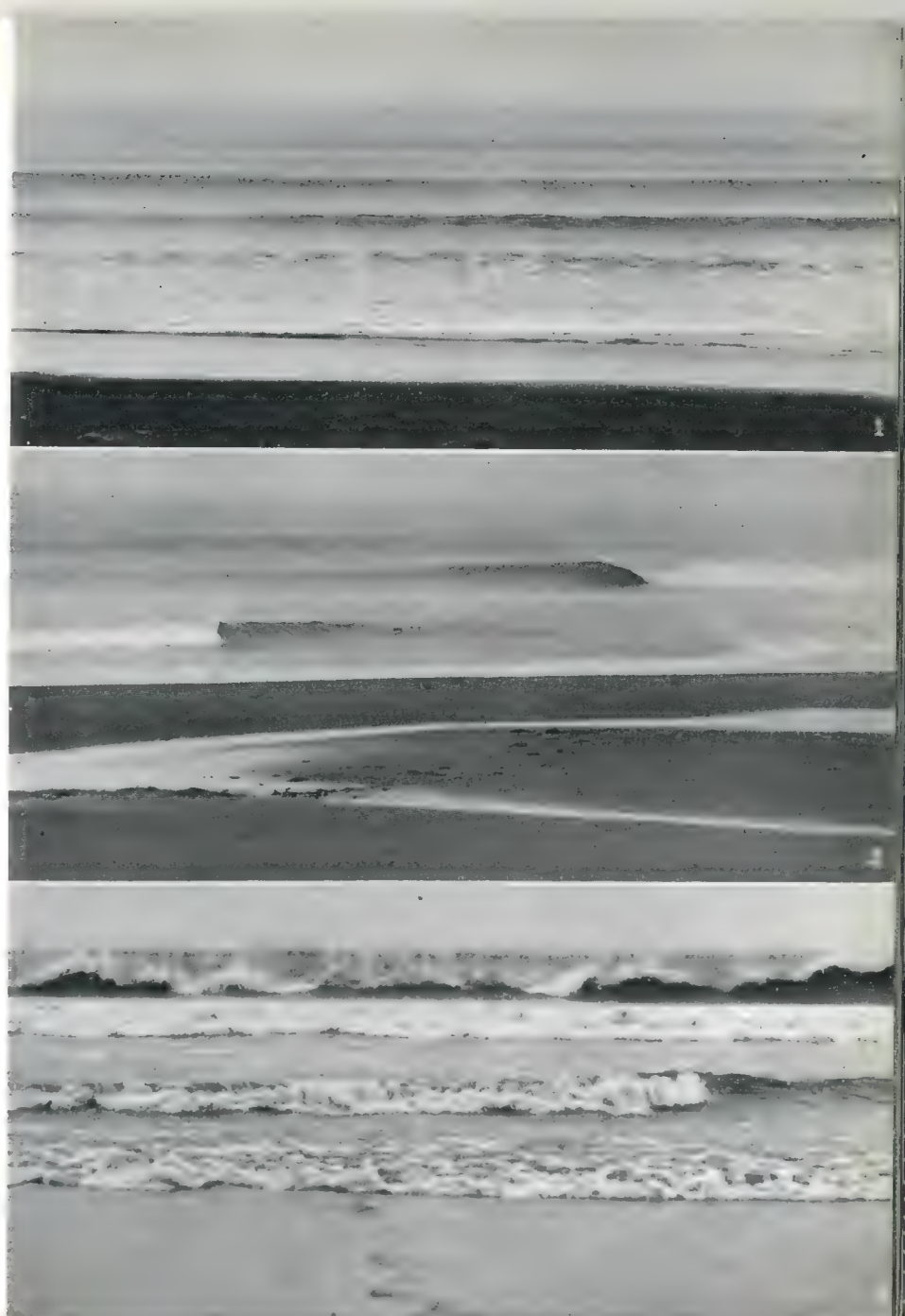
海　の　波

陸地から離れた外洋に起る海の波には風浪とうねりとがある．風浪とは海上の或る場所で，その時その場所を吹いている風によって起されている波である．うねりとは通常遠方にある暴風区域で発生した大きな風浪が，その暴風区域以外の海面まで傳わってきたものである．うねりの波頭は，風浪のそれに比べ常に多少とも丸味を持っているから，うねりと風浪とは容易に区別される．風浪もうねりも，その大きさを表すために，その程度を0から9までの10階級に分けて観測する．波の力は偉大である．あらしの時には1平方mに20ないし30トンの圧力を及ぼす．しかしさかまく大波も外洋では海水の表面だけの現象に過ぎず，どんな大荒れの日でも500 m の深さではまったく静かである．海鳴はうねりが海岸で砕ける時，まき込まれた空氣が逃げようとして発する音が，何粁もはなれた陸地の奥まで傳わってきこえるものである．

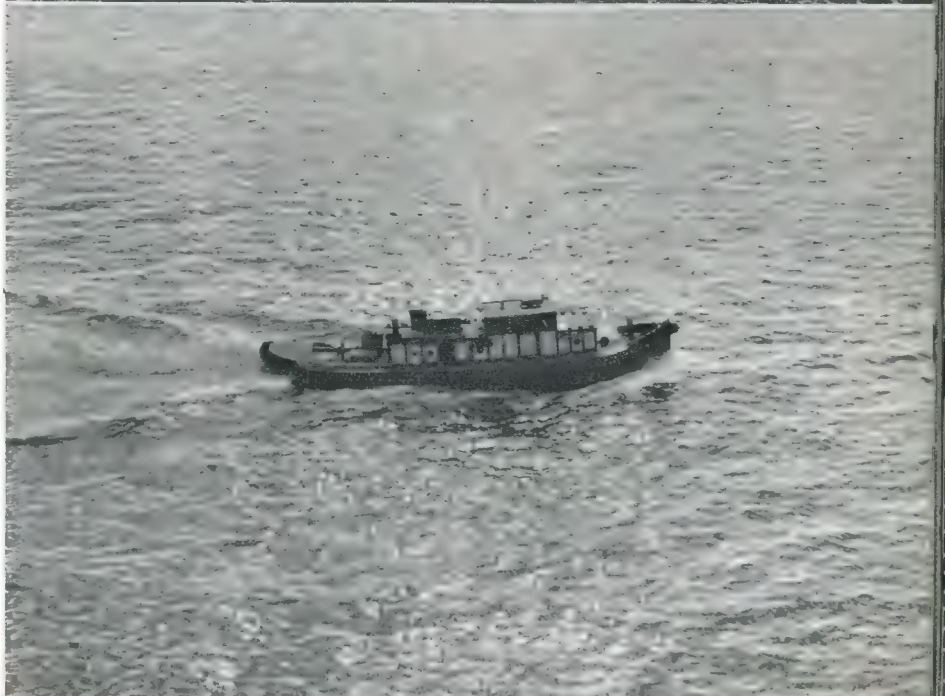
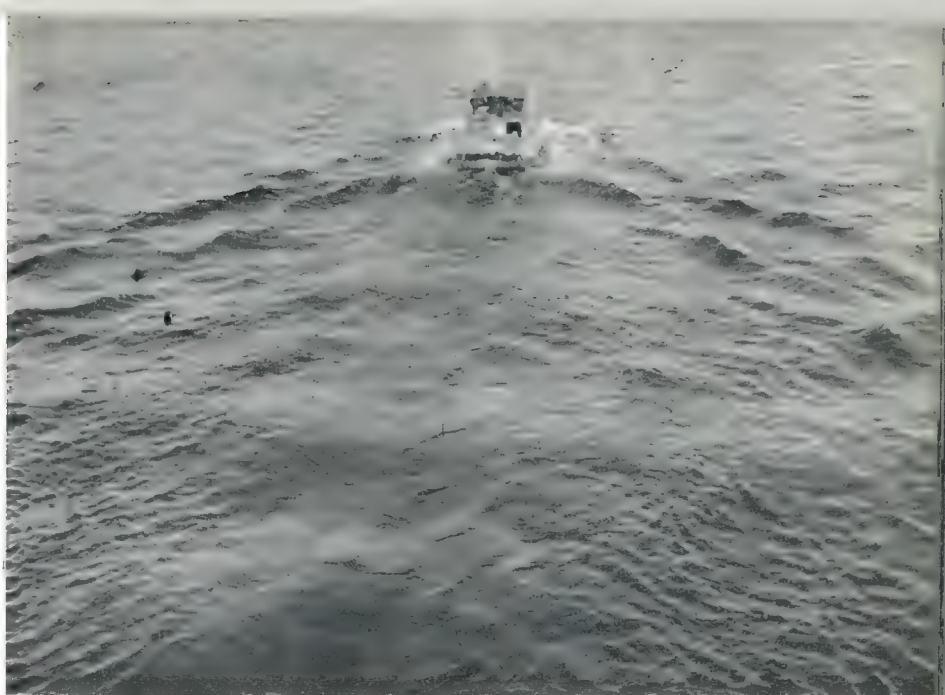
階級 1（さざ波がある）

階級 2（小さな風浪がある）

階級 3（やや風浪がある）

磯　波

海岸に立って，沖から寄せてくる波，崩れる波，返す波を眺めているとあきることを知らない．沖では目立たなかった高低は，岸に近くなるにつれて次第に大きくなってくる．これは底までの深さが小さいほど波の進む速さがおそいからで，すでに浅いところに来ている波の前面よりも，まだそれよりも深いところにいる波の後面の方が速く傳わって，だんだん追いついてくるからである．波の山のところと谷のところとを，くらべてみると底までの深さは山のところの方が大きい．随って谷のつたわる速さよりも山の傳わる速さの方が大きく，波の前面は次第に急になり，後面はしだいにゆるやかになってくる．前面が鉛直になったときに，山にあった水は，とうとう崩れ落ちてくる．

うねり波　たかまり上り水底めがけ　重みにまかせ　倒れたるかも

船　の　波

水のうえを船が走っていくと，船の頭でできた波はそこを中心として，円くひろがっていく．現在よりも時間 t だけ以前にできた波は，現在では，（波の速度 $\times t$）という半径にまでひろがっている．また，船の頭の現在の位置は，そのときとくらべて，（船の速度 $\times t$）という距離だけすすんでいる．随って，船から尾をひく航跡は，波の速度と船の速度との比によって定まる頂角をもって，ひらいていくのである．船が速いほど，頂角は小さくなる．ところが，このような波の傳わる速さが波長によってちがうので，もうすこし話は複雑になる．ある時刻に頭から出た波と，それより少し前に頭から出た波とが重なりあうとき，山と山，谷と谷とがそろっているわけではないから，写眞にみられるような雁行した波が生じることになる．波の進む速度が波長に無関係ならば，こうはならない．

津　波

大きな地震が海におこったとき，震央附近から津波がおこって，海岸におしよせ，大被害を生ずることがある．これは，震央附近の海底が，ひろい面積にわたって，隆起するか沈降するかして，その上に乗っている海水を乱し，これによって大きな波ができ，四方にひろがっていくのである．この津波は，太平洋のように深いところでは１秒に 200 m くらいの速さで進む．右上は1946年４月にアリューシャンでおこった地震による津波が，ハワイのヒロにおしよせたところ，右下は 1952 年３月の十勝沖地震による津波が岩手縣釜石まてとどいて，水がひどくひいたところ，左頁は北海道の霧多布（きりたっぷ）におしよせたところである．これらの津波は，ひるまにおこったので，このような貴重な写眞が，記錄にのこったのである．津波の第一波は，水面が下るばあいもあるし上るばあいもある．

流れが障害物にあたると、表面に凹凸ができる。その凹凸は、空間的にみると波形だが、進んでひろがっていくことはなく、きまった場所に止まっている。こういう波を停滞する波—スタンディング・ウェイヴ—といい、鉄橋の橋脚のところなどによく見られる。障害物が止っていて流れる水がこれにあたっても、水が止っていて障害物が動いていても、同じような現象がおこる。船が進むときできる波は、前に示したが、あれを、船に乗っている人から見れば、一ヵ所に停滞しているわけである。上の図は、浅い水の中で、細い棒を動かしたときにできた波である。皿に水を入れて、そこに箸を立てて動かしてみると、このような波がよくみえる。水の深さをいろいろにかえてみると、波のようすも変ってくる。深さが非常に大きくなったとき、雁行型の船の波となる。船が進行するときに、この波をつくることによって生じる抵抗は、非常に大きい。船の形を設計するときには、この造波抵抗をできるだけ小さくするため、船の模型をつくって、水槽の中を動かして試験する。

定　常　波

なわの一方の端を固定し他方の端を上下に動かしてやると，その振動はこのなわをつたわっていく．そして固定端で反射してかえってくる．かえってきたとき，また，もとと同じ振動を与えてやるとまたそれが反射して帰ってくる．上下する時間と波が往復してくる時間との関係をうまく調節してやると，両端を節とする波形の振動がおこる．上の図では，1波しかおこっていないが，振動の速さを2倍にすれば2波，3倍にすれば3波の振動がおこる．これは，なわの振動とみてもよいが，波の立場からみれば，ゆく波とかえる波とが重なってできた定常波であるといってもよい．ピアノ，ヴァイオリン，セロ等は絃によって音を出す楽器であるが，それらの絃はこういう運動をしている．

波には、四方に連続した実体の中をつたわる波、例えば空氣中を傳わる音の波のようなものと、表面に沿って傳わる波、例えば水面にできる表面波のようなものがある。水面は、実は水と空氣とが接しているところである。ふつうは空氣の存在は問題とならない。水の密度とくらべて、空氣の密度が非常に小さいからである。しかし、空氣と水というような場合ではなく、二種類の液体がまざりあわないで、層になって重なっているような場合には、互に影響を及ぼしあって、その境面のところだけにエネルギーが集中した波が生じ得る。こういう波を界面波という。室内で煙草の煙が静かにたなびくことがある。あれは、それより上にある空氣と、下にある空氣との境を示しているわけである。海の水などはもっといちじるしい層になっている場合がある。そんな場合に、海面上でいくら舟を漕いでも、そのエネルギーが、界面波をつくることにのみ使われて、舟が少しも進行しないということがあるそうである。俗に底幽霊といわれているこの現象も実は界面波のいたずらである。

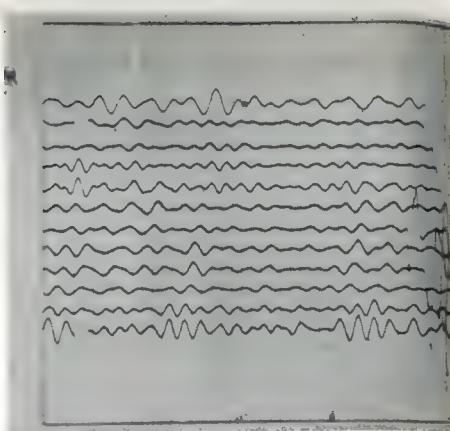
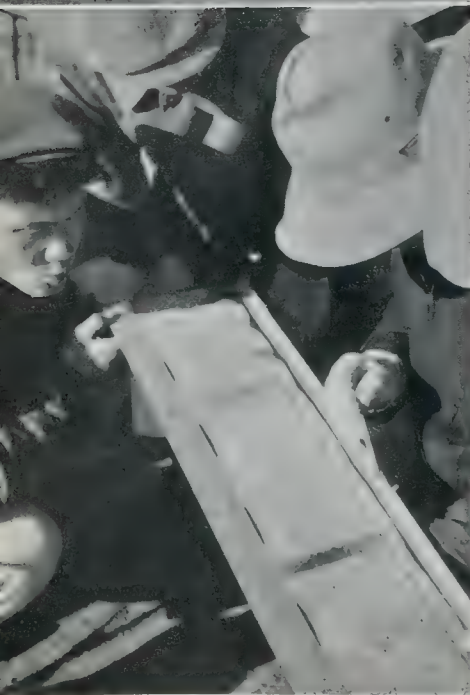
雲　の　波

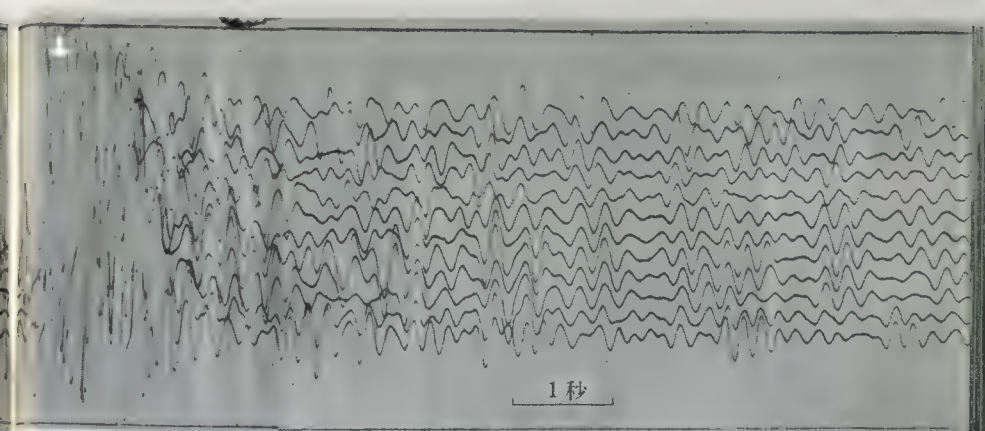
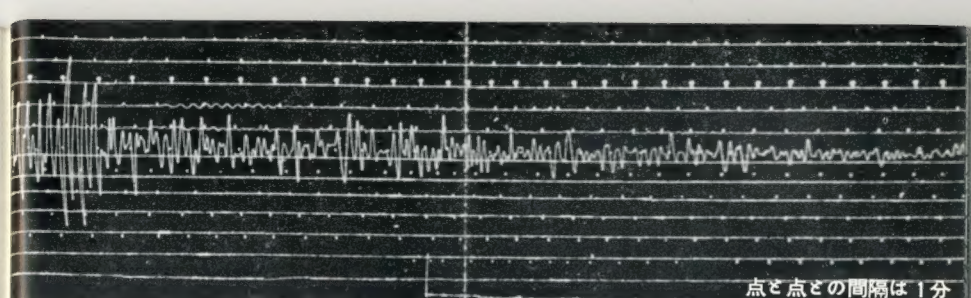
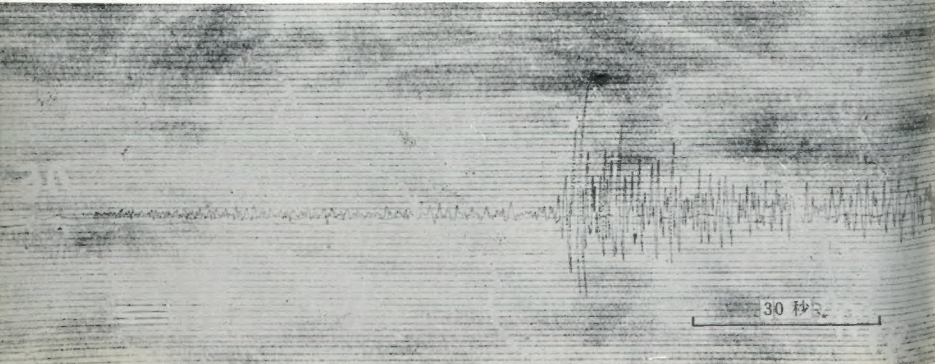
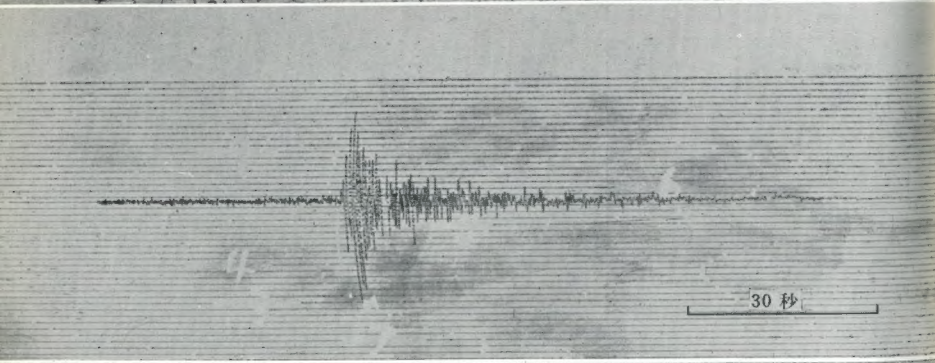
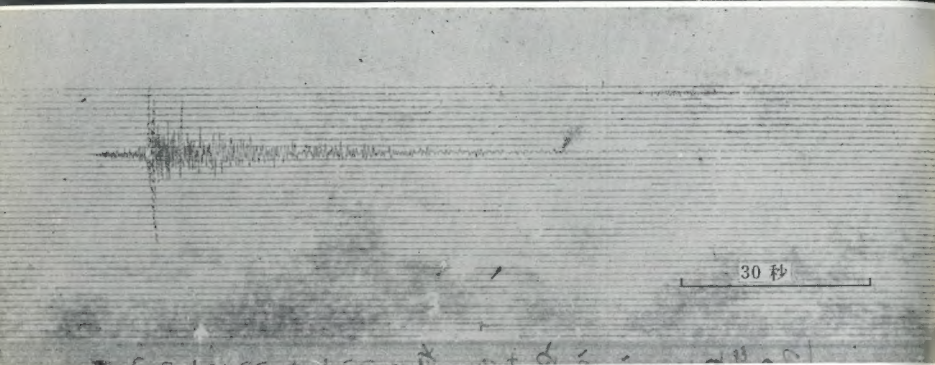
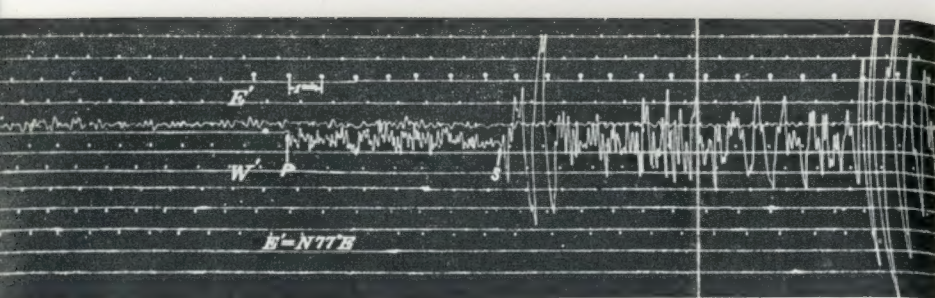
青い空に，はけでかいたような白い雲が，きれいに縞模様をなしていることがある．あれは，空氣の高いところで，波がおこっているためである．性質のちがった空氣が層になって重なっているときに，何かの原因によってその境の面に波がおこったとする．その波の山にあたるところでは，境よりも下にある空氣が上昇することになるから，温度が下り，そこに雲ができるわけである．だから雲の縞と縞との間の幅が，この境面のところにおこっている波の波長にあたるわけである．こういうように，二種の媒質の境におこる波を，ヘルムホルツ波ということがある．二種類の液体が重なっているときにもその境の面にこの波がおこる．

音も波である。われわれが音として耳にきくのは、音の源の振動が空氣をふるわし、その空氣の振動が鼓膜にあたるからである。音は、毎秒およそ三四〇米の速さで、空氣を傳わる。空氣を傳わってくるのは、疎密の狀態の波であって、その波長が短かければ高い音、長ければ低い音として聞える。尤も波長があまり短かかったり、あまり長かったりすると、耳には音としては感じない。また疎密の差がひどいほど、大きい音としてきこえる。このような疎密の狀態が傳わるのは、空氣の中ばかりではない。水の中でも、金屬の中でも傳わる。尤も傳わる速さは、物質によっていろいろである。医者の聽診器は、心臓の鼓動や呼吸などによって身体の中に生じる音を、ゴム管を傳わらせて、耳に聞えるようにするものである。音の傳わる速さは、音の高低や大小によってちがわない。このことは、われわれにとって実にありがたいことである。もしちがうようだったら、音樂を遠くできくと、舞台で同時に出た音でも、ちがった時刻にとどくから、何が何だかわからなくなるであろう。

音　の　波

トーキーのフィルムの側には，細かい縞がある．ここに光をあてると縞の濃淡によって通過する光の量が変化する．その変化を電流の変化にかえて，スピーカーを鳴らすのである．スピーカーの振動によって，空氣中に波が生じ，その波がわれわれの鼓膜にあたって，音として感じられる．

音の波の形如何によって音の種類がきまる．音叉から出る音は規則正しいが，雑音は全く不規則である．アイウエオの母音のちがいも，波の形に明らかにあらわれている．この波の周期が短いと高い音としてきこえ周期が長いと低い音としてきこえる．振幅が大きいと大きい音としてきこえ，振幅が小さいと小さい音にきこえる．波形が音色のちがいを生じる．

地面に穴を掘って，火薬を爆破させると，その振動によって生じた波は，四方にひろがるし，地面の下にも入っていく．そして性質のちがった岩石の壁にあたると，そこで反射して表面にもどってくる．爆破点からある間隔をおいて鋭敏な地震計を並べておくと，上のような曲線がえられる．上の図の中で，上にある方が爆破点に近い地震計による曲線で，下にある方が遠い地震計による曲線である．振動のはじまりが，上から下にいくにつれて次第に遅れているのはこの波が有限の速さで傳わっていくことを示している．たてに入っている線の間は1/10 秒に相当する．矢印のところで，どの地震計にも似た形があらわれているが，これは深いところにある岩石の層のところで反射した波が，どの地震計にもほとんど同時に届いたからである．爆破してからこの波のかえってくるまでの時間がわかり，またこの波の速さがわかっていれば，反射面までの深さが求められる．この方法は，人工地震による地下探査法といわれ，地下の構造をもとめるのに使われている．石油は特有な地下構造をもったところから産出されることがおおいので，この方法によって油田の開発が行われているところがおおい．

点と点との間隔は1分

船から底に向って音を出してやると，底に反射して帰ってくる．帰ってくるまでの時間を曲線にかかせると，それがそのまま海底の形を示す．右の二つは，その写眞である．

地　震　の　波

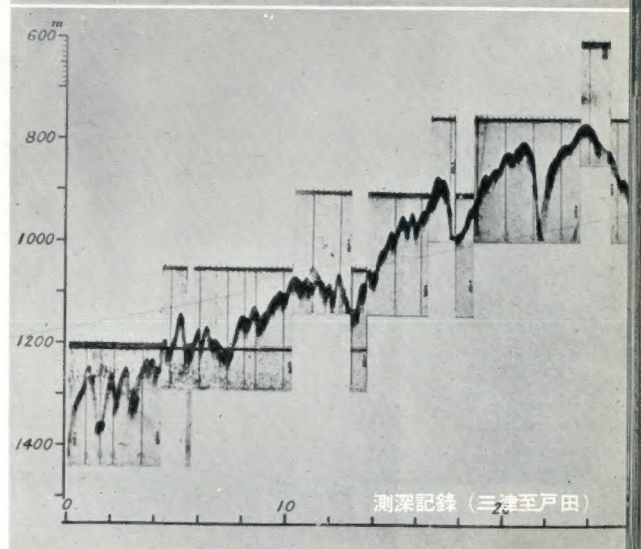
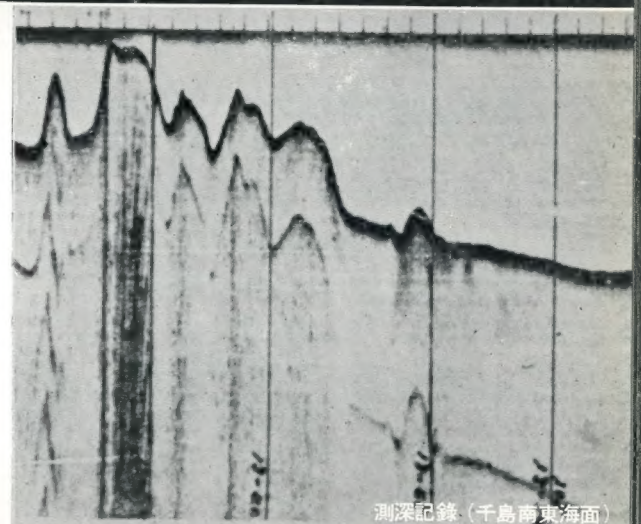
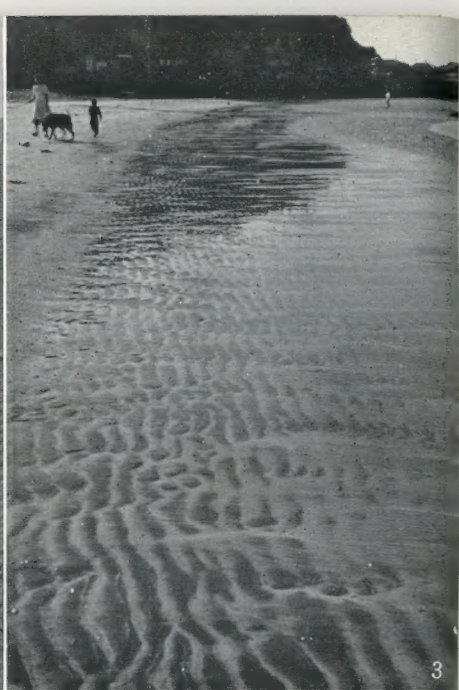
左の三つは地震による地面の振動である．地震ははじめに小さい振動がつづき，しばらくしてから急に大きくなる．はじめの小さい振動が初期微動である．初期微動の長さを秒ではかり，それを8倍すると，震源までの距離がkmでもとめられる．左の三つのうち，上のが一番震源に近く，下のが一番遠い．上の図は，インドに起った地震の振動を東京において記録したものである．震源がこんなに遠くなると，震源から出た地震の波は，地球の中を通ったものや，表面に沿ってきたものやいろいろのものが重なりあうのだから，複雑になる．

30 秒

30 秒

30 秒

測深記錄（千島南東海面）

測深記錄（三津至戸田）

5

3

6

4

波いろいろ

ひろがっていく波，傳わっていく波でなくても空間的に波型をなしているものは，いろいろある．ちょっと歩いてみただけでも，いろいろな波模様が目にうつる．鋪装道路にできる波，電車の線路にできる波など，どうしてこんなにきれいにそろってできるかと思われるほどである．左の上二つは干潟にできた波，下二つは，風の強い砂浜にできた波である．同じく波といっても，これらはひろがっていく波，傳わっていく波とは，性質のちがうものである．あるところに偶然に高いところができたとすると，そのことが次の高いところのできる場所を決定し，それがそのまた次の高いところのできる場所を決定するというような経過がくりかえされていくのである．高いところから，次の高いところまでの間隔は，風の速さ，水の速さなどによって，決定されるのであろう．何十万年何百万年も昔の海浜の干潟の波が，そのまま岩石にかたまったのもある．

1

2

岩波写真文庫目録

既刊

—1955年10月8日—

新刊

184

185

186

187

188

近刊 松島　家庭の電気—実際科学—　アメリカの地方都市—旅行者のみた—

B6判　64頁　写真平均200枚　定価各100円